

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
th this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

2 0 0 2 年 1 2 月 2 日.

出 願 番 号
Application Number:

特願 2 0 0 2 - 3 4 9 8 5 6

パリ条約による外国への出願
用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号
country code and number
of your priority application,
which is used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 2 - 3 4 9 8 5 6

出 願 人
Applicant(s):

セイコーインスツル株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2 0 0 5 年 4 月 1 4 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 5 - 3 0 3 3 8 1 6



【書類名】 特許願

【整理番号】 02000834

【提出日】 平成14年12月 2日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/24

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 出島 範宏

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 千葉 徳男

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 加藤 健二

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 久保 利哉

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 中山 浩光

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 新輪 隆

【特許出願人】

【識別番号】 000002325

【氏名又は名称】 セイコーインスツルメンツ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088328

【弁理士】

【氏名又は名称】 金田 暢之

【電話番号】 03-3585-1882

【選任した代理人】

【識別番号】 100106297

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 克博

【選任した代理人】

【識別番号】 100106138

【弁理士】

【氏名又は名称】 石橋 政幸

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 089681

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非等間隔で平行に配列されている複数の光ファイバと、
前記複数の光ファイバの前方に位置して、第 1 の光ファイバから出射されたビームを第 2 の光ファイバに導くことができる固定ミラー手段と、

前記複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、前記光ファイバの前方に進入したときに、前記第 1 の光ファイバから出射されたビームを第 3 の光ファイバに導いて、前記固定ミラー手段によって構成可能な前記第 1 の光ファイバから前記第 2 の光ファイバに至る光路と実質的に同じ長さの光路を形成することができる可動ミラー手段とを有する光スイッチ。

【請求項 2】 前記複数の光ファイバの前方に位置して、第 4 の光ファイバから出射されたビームを前記第 3 の光ファイバに導くことができる他の固定ミラー手段と、

前記複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、前記光ファイバの前方に進入したときに、前記第 4 の光ファイバから出射されたビームを前記第 2 の光ファイバに導くことができる他の可動ミラー手段とをさらに有する、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 3】 前記他の固定ミラー手段により構成される前記第 4 の光ファイバから前記第 3 の光ファイバに至る光路と、前記他の可動ミラー手段により構成される前記第 4 の光ファイバから前記第 2 の光ファイバに至る光路の、いずれか一方または両方は、前記固定ミラー手段により構成される前記第 1 の光ファイバから前記第 2 の光ファイバに至る光路および前記可動ミラー手段により構成される前記第 1 の光ファイバから前記第 3 の光ファイバに至る光路と、実質的に同じ長さである、請求項 2 に記載の光スイッチ。

【請求項 4】 アド・ドロップ方式の光通信に用いられ、前記第 1 の光ファイバがインと設定され、前記第 2 の光ファイバおよび前記第 3 の光ファイバのうちの一方がアウト、他方がドロップと設定され、前記第 4 の光ファイバがアドと設定される、請求項 3 に記載の光スイッチ。

【請求項 5】 アドと設定された前記第 4 の光ファイバから、ドロップと設定された前記第 2 または第 3 の光ファイバに至る光路のみが、他の光路と長さが異なっている、請求項 4 に記載の光スイッチ。

【請求項 6】 アドと設定された前記第 4 の光ファイバから、ドロップと設定された前記第 2 または第 3 の光ファイバに至る光路は、途中で遮断されている、請求項 4 に記載の光スイッチ。

【請求項 7】 前記固定ミラー手段および前記他の固定ミラー手段は、少なくとも合計 4 つの固定ミラーを含み、前記可動ミラー手段および前記他の可動ミラー手段は、前記複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能な、少なくとも合計 4 つの可動ミラーを含んでいる、請求項 3 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 8】 前記固定ミラー手段および前記他の固定ミラー手段は、少なくとも合計 4 つの固定ミラーを含み、前記可動ミラー手段および前記他の可動ミラー手段は、前記複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能であり、前記固定ミラーのいずれかと協働して前記光路を構成可能である合計 2 つの可動ミラーを含んでいる、請求項 3 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 9】 前記可動ミラーおよび前記固定ミラーは、それぞれ 1 つのビームの反射のみが可能である、請求項 7 または 8 に記載の光スイッチ。

【請求項 1 0】 前記可動ミラーおよび前記固定ミラーは、前記光路を構成するのに必要な、ビームを反射すべき部分と同数だけ設けられており、前記可動ミラーはビーム径の 3 倍以下の大きさに形成されている、請求項 9 に記載の光スイッチ。

【請求項 1 1】 全ての前記ミラーが前記光ファイバの光軸に対して 4 5 度の角度に配置されている、請求項 1 ～ 1 0 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は光スイッチに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来、光通信分野などにおいて様々な光学デバイスが使用されており、例えば、光ファイバ伝送路の光路の切り換えや遮断を行う光スイッチ装置として、複数の光ファイバとミラーを有する構成のものがある。

【0 0 0 3】

特開 2 0 0 0 - 1 3 7 1 7 7 号公報には、図 1 1, 1 2 に示すように、基板 2 1 上に複数の光ファイバ 2 2 a ~ 2 2 d が平行に整列し、それらの先端部の前方に、2 つの反射面（ミラー） 2 3 a, 2 3 b を組み合わせた可動反射部材 2 3 が、図示しないカンチレバーにより上下動可能に配置されている構成の光スイッチ装置が開示されている。図示しないが、この構成では、カンチレバーに磁性体が設けられ、基板 2 1 の下方に電磁石が設けられている。そして、電磁石の作動によってカンチレバーを上下させて、可動反射部材 2 3 が光ファイバ 2 2 b, 2 2 c の先端の前方に進入した状態とそこから退出した状態とを切り換えることができる。可動反射部材 2 3 が光ファイバ 2 2 b, 2 2 c の先端の前方に進入した状態では、反射面 2 3 a, 2 3 b が光ファイバ 2 2 a, 2 2 c からのビームの光路中に位置するため、固定されている反射面 2 4 a, 2 4 b と協働して、光ファイバ 2 2 a から光ファイバ 2 2 b への光路と、光ファイバ 2 2 c から光ファイバ 2 2 d への光路が形成される。これに対し、可動反射部材 2 3 が光ファイバ 2 2 b, 2 2 c の先端の前方から退出した状態では、反射面 2 3 a, 2 3 b が光ファイバ 2 2 a, 2 2 c の光路中に位置せず、その奥に固定されている反射面 2 4 a, 2 4 b が用いられて、光ファイバ 2 2 a から光ファイバ 2 2 d への光路と、光ファイバ 2 2 c から光ファイバ 2 2 b への光路が形成される。このようにして、光ファイバの光路を切り換えられる光スイッチが構成されている。

【0 0 0 4】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 0 - 1 3 7 1 7 7 号公報（段落[0 0 1 7]~[0 0 2 7]、図 1）

【0 0 0 5】

【発明が解決しようとする課題】

前記した従来の構成では、光ファイバ 22a～22d は等間隔（ピッチ A）で平行に配列されている。これは、光ファイバ 22a～22d の保持構成を簡単にできるという利点を有している。ところが、このように等間隔で平行に並んでいる光ファイバ 22a～22d の前方に可動の反射板 23a, 23b と固定の反射板 24a, 24b を配置した構成では、光路切り換え時の光路長差が大きくなる可能性がある。すなわち、図 12 に示すように、反射板 23a, 23b が挿入されている場合の、光ファイバ 22a から光ファイバ 22b への光路と光ファイバ 22c から光ファイバ 22d への光路が、反射板 23a, 23b が挿入されていない場合の、光ファイバ 22a から光ファイバ 22d への光路と光ファイバ 22c から光ファイバ 22b への光路に比べて長さが異なっている。具体的には、光ファイバ 22a から光ファイバ 22b への端部間の光路長は $E + A + E = A + 2E$ であり、光ファイバ 22c から光ファイバ 22d への端部間の光路長も $E + A + E = A + 2E$ であるが、光ファイバ 22a から光ファイバ 22d への端部間の光路長は $E + A + A + A + E = 3A + 2E$ であり、光ファイバ 22c から光ファイバ 22b への端部間の光路長は $E + D + A + D + E = A + 2D + 2E$ である。このように、光スイッチによる切り換えの前後で光路長に大きな差が出てしまう。

【0006】

光スイッチなどの光学デバイスには、グレーデッドインデックス型光ファイバを備えた比較的小径のファイバコリメータが用いられる場合が多く、ファイバコリメータから出射される光は、一旦収束した後で再び広がって進行する。一例として、表 1 および図 13, 14 に、出射された光の進行の様子を示しているように、光ファイバの端面からの距離に応じてビーム径は変動する。

【0007】

【表 1】

距離 (μm)	ビーム半径 (μm)
-250	48.9
-200	42.4
-150	36
-100	29.5
-50	23.1
0	16.6
50	27.2
100	37.8
150	48.4
200	59.1
250	69.8

【0008】

そこでこのファイバコリメータを光学デバイスに組み込む場合には、光の収束と拡がりの状態に基づいて、光学的に接続される1対のファイバコリメータを、それらの端部間の間隔が最適になるような位置関係に配置することによって、結合効率が最も良い状態に保つことができる。すなわち、出射側と入射側に同じファイバコリメータを用いる場合、中間地点において焦点を持つようにファイバコリメータを設定することが好ましい。

【0009】

このようにして光学デバイス内のファイバコリメータの設置位置は決められるが、図12に示すような構成の場合、例えば、切り換え前の光路の光路長 ($A + 2E$) が最適になるように光ファイバを配置した場合、切り換え後の光路の光路長 ($3A + 2E$ 、 $A + 2D + 2E$) では、ビーム径が大きくなり過ぎた状態など光の状態が不適当なまま、もう一方の光ファイバに入射する構成になる可能性が高い。その場合、光の損失が大きくなる。

【0010】

ここで、1対の光ファイバ間の間隔と結合効率との関係について説明する。一方（左側）の光ファイバからのビームが焦点を結ぶ位置（ビーム半径が最小の $16.6 \mu\text{m}$ になる位置）を $0 \mu\text{m}$ として距離を表示し、もう一方（右側）の光フ

ファイバの先端面の位置を変えた場合について図 1 5 (a) ~ (c) に示している。ここで、両光ファイバからの焦点位置が一致するかどうかという観点で考えると、以下に示すマーカスの式によって結合効率が求められる。

【0 0 1 1】

【数 1】

$$\eta = [(2W_1W_2) / (W_1^2 + W_2^2)]^2$$

η : 結合効率

W_1 : 一方の光ファイバからのビーム半径

W_2 : 他方の光ファイバからのビーム半径

【0 0 1 2】

このマーカスの式に基づいて結合効率を求め、さらに損失を算出した結果を表 2 および図 1 6 に示す。ここでは、一例として、半径約 5 0 μ m のビームを出射し、出射端から 2 5 0 μ m の距離で焦点を結ぶ、すなわちビーム径が最小となる BW (Beam Waist) 点となるように設定された、屈折率分布定数が 3. 5 で直径が 1 2 5 μ m (コア径が 1 0 0 μ m) のファイバコリメータを用いている。

【0 0 1 3】

【表 2】

距離 (μ m)	結合効率 (%)	損失 (dB)
-250	37. 1	4. 31
-200	46. 1	3. 36
-150	57. 8	2. 38
-100	73. 1	1. 36
-50	89. 8	0. 47
0	100	0
50	79. 1	1. 02
100	54. 2	2. 66
150	37. 7	4. 24
200	27. 1	5. 67
250	20. 3	6. 93

【0 0 1 4】

これらの結果から明らかなように、図 1 5 (a) に示すように、両光ファイバの焦点 (BW 点) を一致させるため、先端部間の間隔が $500\ \mu\text{m}$ になるように配置した場合に、最も結合効率がよく損失が少なくなるが、両光ファイバの間隔が僅かに狂っただけでも、結合効率が大幅に低下し損失が増大する。例えば、図 1 5 (b) に示すように、出射側 (左側) の光ファイバを固定したままで、入射側 (右側) の光ファイバを $100\ \mu\text{m}$ 遠ざけると、結合効率は 54.2% にまで低下する。図 1 5 (c) に示すように、一方 (左側) の光ファイバを固定したままで、他方 (右側) の光ファイバを $100\ \mu\text{m}$ 近づけた場合でも、結合効率は 73.1% に低下する。損失を $0.5\ \text{dB}$ 以下に抑えるためには、 $+25\ \mu\text{m} \sim -50\ \mu\text{m}$ の範囲で光学的結合するように両光ファイバを配置する必要がある。

【0 0 1 5】

このように、光学的に接続される光ファイバ間の間隔が数十 μm 変動しただけでも結合効率が大きく低下し損失が増大するので、前記の通り、光スイッチの切り換えの前後で光路長が変わるような構成であると、切り換え前の光路または切り換え後の光路のいずれか一方は高結合効率で良好な光の伝播が行えても、他方は結合効率が低く光の伝播が不良になる可能性が高い。

【0 0 1 6】

また、図 1 1, 1 2 に示す従来の構成では、固定側の反射板 2 4 a が光ファイバ 2 2 a と 2 2 b の前方に位置してビームの反射を行い、反射板 2 4 b が光ファイバ 2 2 c と 2 2 d の前方に位置してビームの反射を行うために、反射板 2 4 a, 2 4 b は比較的大面積である必要がある。さらに、可動の反射板 2 3 a, 2 3 b は可動反射部材 2 3 としてユニット化されているために大型化している。このように、反射板 (ミラー) の配置される領域が大きくなるため、必然的に、光ファイバ 2 2 a, 2 2 c から出射して反射板に到達するまでの距離が長くなり、それによって光ファイバ 2 2 b, 2 2 d に至るまでの光路長が長くなる。光路長が長くなると、光ファイバ 2 2 a ~ 2 2 d および反射板 2 3 a, 2 3 b, 2 4 a, 2 4 b の位置や角度の相対的なずれが、たとえ微小であっても大きな影響を及ぼすようになり、光の損失が大きくなる。そのことは非常に精緻で煩雑な組立作業

を必要とすることを意味する。また、可動反射板 2 3 が大型であるため、その駆動手段であるカンチレバーの大型化や電磁石の高出力化を必要とするとともに、共振周波数が低くなって、切り換え速度を遅くせざるを得ず高速光通信に適さなくなるおそれがある。さらに、結果的に光スイッチ全体が大型化するため、1 枚のウエハから製造できる光スイッチの個数が少なくなるため、製造コストの上昇を招くという問題がある。

【0 0 1 7】

そこで本発明の目的は、複数の光ファイバからなる光路のうち少なくとも光通信上必要な光路の光路長差をできるだけ小さくするとともに、ミラーの設けられている領域を小型化し、光路長を短くした光スイッチを提供することにある。

【0 0 1 8】

【課題を解決するための手段】

本発明の特徴は、非等間隔で平行に配列されている複数の光ファイバと、複数の光ファイバの前方に位置して、第 1 の光ファイバから出射されたビームを第 2 の光ファイバに導くことができる固定ミラー手段と、複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、光ファイバの前方に進入したときに、第 1 の光ファイバから出射されたビームを第 3 の光ファイバに導いて、固定ミラー手段によって構成可能な第 1 の光ファイバから第 2 の光ファイバに至る光路と実質的に同じ長さの光路を形成することができる可動ミラー手段とを有するところにある。そして、複数の光ファイバの前方に位置して、第 4 の光ファイバから出射されたビームを第 3 の光ファイバに導くことができる他の固定ミラー手段と、複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、光ファイバの前方に進入したときに、第 4 の光ファイバから出射されたビームを前記第 2 の光ファイバに導くことができる他の可動ミラー手段とをさらに有することが好ましく、他の固定ミラー手段により構成される第 4 の光ファイバから第 3 の光ファイバに至る光路と、他の可動ミラー手段により構成される第 4 の光ファイバから第 2 の光ファイバに至る光路の、いずれか一方または両方は、固定ミラー手段により構成される第 1 の光ファイバから第 2 の光ファイバに至る光路および可動ミラー手段により構成される第 1 の光ファイバから第 3 の光ファイバに至る光路と、実質的に同じ長さであ

ることが好ましい。

【0019】

このような構成では、各光ファイバの組み合わせによって構成可能な光路のうちの全て、または1つを除いて全てが、光路長が等しくなるように設定されており、これらの光路について、光の良好な伝播状態が確保できる。

【0020】

アド・ドロップ方式の光通信に用いられる場合、第1の光ファイバがインと設定され、第2の光ファイバおよび第3の光ファイバのうちの一方がアウト、他方がドロップと設定され、第4の光ファイバがアドと設定されるとよい。その場合、アドと設定された第4の光ファイバから、ドロップと設定された第2または第3の光ファイバに至る光路のみが、他の光路と長さが異なってもよい。また、アドと設定された第4の光ファイバから、ドロップと設定された第2または第3の光ファイバに至る光路は、途中で遮断されていてもよい。一般に、アド・ドロップ方式の光通信においては、1つの光路（アド・ドロップの光路）のみは光の伝播状態が悪くても問題にならないので、本発明を適用するのに特に適している。

【0021】

固定ミラー手段および他の固定ミラー手段は、少なくとも合計4つの固定ミラーを含み、可動ミラー手段および他の可動ミラー手段は、複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能な、少なくとも合計4つの可動ミラーを含んでいる。または、固定ミラー手段および他の固定ミラー手段は、少なくとも合計4つの固定ミラーを含み、可動ミラー手段および他の可動ミラー手段は、複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能であり、固定ミラーのいずれかと協働して光路を構成可能である合計2つの可動ミラーを含んでいる。

【0022】

また、本発明は、複数の光ファイバと、1対の光ファイバの端部間が光学的に接続されることによって構成される光路を、複数の光ファイバの光学的接続の組み合わせを変えることによって、異なる光路に切り換え得る切り換え手段とを有

し、複数の光ファイバは、非等間隔で平行に配列され、切り換え手段によって切り換えられる様々な光路の光ファイバの端部間の経路が、全て実質的に同じ長さになるような相対位置関係に配置された構成であってもよい。

【0 0 2 3】

または、複数の光ファイバは、非等間隔で平行に配列され、切り換え手段によって切り換えられる様々な光路の光ファイバの端部間の経路が、1つの光路を除いてその他は全て実質的に同じ長さになるような相対位置関係に配置された構成にすることもできる。その場合、アド・ドロップ方式の光通信に用いられるために、少なくとも、アド、ドロップ、イン、およびアウトとしてそれぞれ使用される4本の光ファイバを有し、複数の光ファイバは、アドとして使用される光ファイバとドロップとして使用される光ファイバとからなる光路を除いて、その他の光路（すなわち、インーアウト、インードロップ、アドーアウトの3つの光路）の光ファイバの端部間の経路が実質的に同じ長さになるような相対位置関係に配置されていてもよい。

【0 0 2 4】

これらの構成でも、前記したのと同様に、各光ファイバの組み合わせによって構成可能な光路のうちの全て、または1つを除いて全てが、光路長が等しくなるように設定されており、これらの光路について、光の良好な伝播状態が確保できる。

【0 0 2 5】

切り換え手段は可動ミラーと固定ミラーを含み、可動ミラーが光ファイバの光軸上の位置と光軸外の位置とを移動することによって光路の切り換えを行うものであってもよい。

【0 0 2 6】

以上説明した本発明の各構成において、可動ミラーおよび固定ミラーは、それぞれ1つのビームの反射のみが可能であり、可動ミラーおよび固定ミラーは、前記光路を構成するのに必要な、ビームを反射すべき部分と同数だけ設けられており、可動ミラーはビーム径の3倍以下の大きさに形成されているのが好ましい。このような構成では、各ミラーを小型化でき、ミラー配置領域を小さくできるの

で、それに伴って光ファイバの先端部をより近接させて、光路長を短くすることができる。それによって、光ファイバおよび各ミラーの位置や角度のずれに対する許容範囲が大きくなる。さらに、可動ミラーが小型であるため、可動部全体を小型軽量化して、共振周波数を高くしてスイッチング速度を速くすることができる。また、電磁石などの駆動手段の出力を小さく抑えることも可能である。さらに、全てのミラーが光ファイバの光軸に対して45度の角度に配置されていることが好ましい。これによって、ミラーの光軸に対する角度が均一化され、調芯などの光学的調整が容易になり、製造工程におけるばらつきを小さく抑えることができる。

【0027】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0028】

〔第1の実施形態〕

図1、2に本発明の光スイッチの第1の実施形態を示している。まず、この光スイッチの基本構成について説明する。

【0029】

この光スイッチは、光スイッチ本体である基板1と、基板1上に配置されている光ファイバ2～5と、固定ミラー6a～6dと、可動ミラー7a、7bと、基板1の上方または下方に配置されている図示しない駆動手段を有している。

【0030】

本実施形態では、光ファイバ2～5は、被覆部2b～5bと、その先端に位置し被覆が剥がされたむき出しのベア部2a～5aとからなり、被覆部2b～5bは基板1上で密着して平行に並んでいる。そして、被覆部2b～5bよりも小径であるベア部2a～5aは、先端部が非等間隔に並び、光路長を後述するように調整するように配置されている。なお、基板1には、ベア部2a～5a用のガイド溝8aと被覆部2b～5b用のガイド溝8bを有するガイド部材12a、12bが形成されており、光ファイバ2～5は、これらのガイド溝8a、8b内に挿入されることによって基板1上に位置決めされ固定されている。本実施形態では

、光ファイバ2および4の組と、光ファイバ3および5の組に分けられ、いずれか一方の組（例えば光ファイバ2および4）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ3および5）が入射側光ファイバとなる。なお、ガイド部材12a, 12bは、本実施形態のように基板1に形成される構成に限られず、基板1とは別にガラスなどにより形成されて、基板1上に配置される構成であってもよい。

【0031】

固定ミラー6a～6dは、基板1上に直接固定されている。一方、可動ミラー7a, 7bは、基板1に対して上方または下方に移動可能な可動部9に設けられている。可動部9は、基板1に設けられた凹部1a内に位置し、平面部9aと、この平面部9aを凹部1aの内周面に接続するバネ性を有する梁部9bと、平面部から連続して形成されたステージ部9cとからなる。そして、ステージ部9c上に、可動ミラー7a, 7bが設けられている。図2に拡大して模式的に示すように、平面的に見ると、光ファイバ2のベア部2aの先端部の前方に固定ミラー6aが位置し、光ファイバ3のベア部3aの先端部の前方に可動ミラー7aと固定ミラー6bが位置し、光ファイバ4のベア部4aの先端部の前方に可動ミラー7bと固定ミラー6cが位置し、光ファイバ5のベア部5aの先端部の前方に固定ミラー6dが位置している。なお、基板1の厚さ方向に見ると、可動ミラー7a, 7bは、可動部9が図示されている状態にあるときに（停止位置にあるときに）光ファイバ3, 4と対向し、可動部9が上方または下方に移動すると光ファイバ3, 4と対向しない位置に来る。光ファイバ2～5のベア部2a～5aの先端部は非等間隔に並んでいるが、これらの光軸は全て平行であり、固定ミラー6a～6dおよび可動ミラー7a, 7bは全てこれらの光軸に対して45度傾いた姿勢である。

【0032】

本実施形態では、可動部9の、光ファイバ2～5と反対側にも、前記したのと同じ、ダミーのステージ部9cおよび可動ミラー7a, 7bと固定ミラー6a～6dが設けられている。これによって、可動部9は完全に対称形状になるため、移動時にねじり等の不要な動きを生じることがない。それによって、各可動

ミラー 7 a, 7 b のビームに対する相対角度や相対位置が正確に保たれる。

【0033】

なお、本実施形態の光ファイバ 2～5 は、グレーデッドインデックス型光ファイバを備えたファイバコリメータであり、端面がクリーブまたは研磨により 3～8 度程度傾斜させられ、反射防止コーティングが施されて、反射損失を減じてある。そして、各光ファイバ 2～5 は、ベア部 2 a～5 a の先端部がほぼ一直線上に並ぶように配置されている。

【0034】

基板 1 の上方または下方に設けられている駆動手段は、可動部 9 に吸引力または反発力を働かせる電磁石または静電アクチュエータであるが、これは従来から周知の構成であるためここでは図示および説明を省略する。なお、駆動手段として電磁石を用いる場合には、図示しない磁性体が可動部 9 に設けられる。駆動手段として静電アクチュエータを用いる場合には、1 対の電極（図示せず）の間に可動部 9 が挿入される。

【0035】

このような構成の光スイッチにおいて、図 1 に示されている状態では、可動部 9 の梁部 9 b は変形せず、平面部 9 a 上の可動ミラー 7 a, 7 b は、光ファイバ 3, 4 と対向するように位置する。従って、例えば、図 2 に実線で示すように、光ファイバ 2 から出射されたビームは、固定ミラー 6 a に反射され、さらに可動ミラー 7 a に反射されて光ファイバ 3 に入射する。光ファイバ 4 から出射されたビームは、可動ミラー 7 b に反射され、さらに固定ミラー 6 d に反射されて光ファイバ 5 に入射する。このようにして、光ファイバ 2 から 3 に至る光路と、光ファイバ 4 から 5 に至る光路が形成されている。

【0036】

これに対し、駆動手段が駆動されて可動部 9 に吸引力または反発力を及ぼすと、バネ性を有する梁部 9 b が撓み変形して、平面部 9 a およびステージ部 9 c が基板 1 の上方または下方に移動する。これによって、ステージ部 9 c 上の可動ミラー 7 a, 7 b は、光ファイバ 2～5 の先端部に対向しない位置に移動する。すなわち、可動ミラー 7 a, 7 b は光ファイバ 2～5 の光路から退出するため、例

例えば、図2に1点鎖線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、固定ミラー6aに反射され、さらに固定ミラー6dに反射されて光ファイバ5に入射する。光ファイバ4から出射されたビームは、可動ミラー7a, 7bが光路上に存在しないため、固定ミラー6cに反射され、さらに固定ミラー6bに反射されて、光ファイバ3に入射する。このようにして、光ファイバ2から5に至る光路と、光ファイバ4から3に至る光路が形成されている。

【0037】

この場合の光路長について説明する。まず、可動部9が図示されている位置にある状態（切り換え前）では、光ファイバ2から、固定ミラー6aおよび可動ミラー7aを介して光ファイバ3に至る光路が形成されており、その光路長（光ファイバのベア部の先端部間の距離）は、図2に示すように、 $E + A + E = A + 2E$ である。そして、光ファイバ4から、可動ミラー7bおよび固定ミラー6dを介して光ファイバ5に至る光路も形成され、その光路長は $E + C + E = C + 2E$ である。これに対し、可動部9が移動した状態では、光ファイバ2から、固定ミラー6aおよび固定ミラー6dを介して光ファイバ5に至る光路が形成されており、その光路長は $E + A + B + C + E = A + B + C + 2E$ である。そして、光ファイバ4から、固定ミラー6cおよび固定ミラー6bを介して光ファイバ3に至る光路も形成され、その光路長は $E + D + B + D + E = B + 2D + 2E$ である。ここで、各光ファイバ2～5と固定ミラー6a～6dおよび可動ミラー7a, 7bの相対位置関係を、 $A = C = B + 2D$ と設定することにより、考えられる4通りの光路のうちの3つの光路長が等しくなる。従って、これらの3つの光路に関しては、光ファイバ2～5がファイバコリメータである場合にも全て最適な条件で光ファイバ間の光の伝達が行える。

【0038】

一般にアド・ドロップ方式といわれる光通信方式の光学手段では、「IN」、「OUT」、「ADD」、「DROP」という4つの光ファイバを組み合わせで光路を構成するが、特に切り換え前後の「IN」－「OUT」という光路と「ADD」－「OUT」という光路と、「IN」－「DROP」という光路が重要であり、これらの光路ができるだけ低損失で良好に光の伝達を行えるようにしたいため、少なくともこれらの光路

長、具体的には光ファイバの端部間の距離を一致させて、かつファイバコリメータの特性に応じて最適な距離になるように配置する。しかし、「ADD」－「DROP」という光路は、アド・ドロップ方式の光通信において通常はあまり必要とされないで、光路長についても特に問わない。従って、図 2 に示す構成では、光ファイバ 2 ～ 5 を、例えば「ADD」、「OUT」、「IN」、「DROP」の順に設定すれば、「IN」－「OUT」光路の光路長 ($B + 2D + 2E$) と、「ADD」－「OUT」光路の光路長 ($A + 2E$) と、「IN」－「DROP」光路の光路長 ($C + 2E$) を等しくすることができ、「ADD」－「DROP」光路の光路長 ($A + B + C + 2E$) のみ異なるようにすることができる。これによると、全ての光路の光路長が同一ではないが、十分な効果が得られる。なお、「ADD」、「OUT」、「IN」、「DROP」の組み合わせは前記したものに限られず、光の入射と出射の関係が適正であり、「ADD」－「DROP」以外の 3 つの光路の光路長が全て等しくなるような組み合わせであれば、自由に設定することができる。

【0 0 3 9】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ 2 が第 4 の光ファイバで、光ファイバ 3, 5 のいずれか一方が第 2 の光ファイバで他方が第 3 の光ファイバで、光ファイバ 4 が第 1 の光ファイバである。その場合、固定ミラー 6 b と 6 c が固定ミラー手段を構成し、固定ミラー 6 a と 6 d が他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー 7 b が可動ミラー手段を構成し、可動ミラー 6 a が他の可動ミラー手段を構成する。

【0 0 4 0】

表 3 に、本実施形態の構成における具体的な設計例を示している。

【0 0 4 1】

【表 3】

第1の実施形態の設計例

(一般的には、 $A, C=125\sim500\mu m$, $B=125\sim250\mu m$, $D, E=0\sim250\mu m$ である)

A	400
B	150
C	400
D	125
E	100

光ファイバ 2→3	$A+2E$	600
光ファイバ 4→5	$C+2E$	600
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	1150
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	600

A	350
B	150
C	350
D	100
E	100

光ファイバ 2→3	$A+2E$	550
光ファイバ 4→5	$C+2E$	550
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	1050
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	550

A	350
B	150
C	350
D	100
E	75

光ファイバ 2→3	$A+2E$	500
光ファイバ 4→5	$C+2E$	500
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	1000
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	500

A	300
B	150
C	300
D	75
E	100

光ファイバ 2→3	$A+2E$	500
光ファイバ 4→5	$C+2E$	500
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	950
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	500

A	250
B	150
C	250
D	50
E	100

光ファイバ 2→3	$A+2E$	450
光ファイバ 4→5	$C+2E$	450
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	850
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	450

A	200
B	150
C	200
D	25
E	100

光ファイバ 2→3	$A+2E$	400
光ファイバ 4→5	$C+2E$	400
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	750
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	400

【0042】

前記した通り、 $A=C=B+2D$ と設定することにより3つの光路(アド・ドロップ方式の場合、「IN」-「OUT」、「ADD」-「OUT」、「IN」-「DROP」)の光路長を等しくできる。実際には、例えば表1, 2に示されているようなファイバコリメータの特性や、ファイバの径(表3の設計例では直径 $125\mu m$ と設定)や各ミラーの大きさ等を考慮した上で、適切な寸法が選択される。

【0043】

本実施形態では、1枚のミラーで複数のビームを同時に反射する構成にはなっておらず、1枚のミラーでは1つのビームのみを反射する構成であるため、各ミラーを小型化でき、ミラー配置領域を小さくできるので、それに伴って光ファイバ2～5のベア部2a～5aの先端部をより近接させて、光路長を短くすることができる。そして、光路長を短くすることによって、光ファイバ2～5および各ミラー6a～6d, 7a, 7bの位置や角度のずれに対する許容範囲が大きくなる。

【0044】

また、可動ミラー7a, 7bが、好ましくはビーム径の3倍以下、より好ましくは1.5倍程度と小型であるため、可動部全体を小型軽量化して、電磁石などの駆動手段の出力を小さく抑えることができるとともに、共振周波数を高くして高速光通信用にスイッチング速度を速くすることができる。さらに、光スイッチ全体を小型化して1枚のウエハから製造できる光スイッチの個数を増やし、製造コストを低減することも可能である。

【0045】

この光スイッチ装置の製造方法について簡単に説明すると、まず、シリコンからなる基板1をパターンエッチングして、凹部1aと、この凹部1a内に位置する可動部9（平面部9aと梁部9bとステージ部9c）とを形成すると同時に、基板1上の固定ミラー6a～6dと、可動部9のステージ部9c上の可動ミラー7a, 7bと、ガイド溝8a, 8bを有するガイド部材12a, 12bとを形成する。各ミラー6a～6d, 7a, 7bの表面には、用いられる光の波長に対して反射率を向上させるために金またはアルミニウムを蒸着する。さらに、ガイド部材12a, 12bのガイド溝8a, 8b内に光ファイバ2～5を挿入して位置決めしてUV接着剤などを用いて固定する。なお、ガイド溝8a, 8bによって、各光ファイバ2～5は、前記した相対位置関係を満たすように配置される。その後、図示しないが電磁石などの駆動手段を配置して、光スイッチ装置を完成させる。

【0046】

図3には、本実施形態の変形例が示されている。この例では、光ファイバ2～5が全く被覆されておらず、ガイド部材12bに支持されている部分では等間隔で平行に配列され、ガイド部材12bとガイド部材12aとの間で、前記した位置関係になるように曲げられている。

【0047】

図4には、本実施形態のさらに他の変形例が示されている。この例では、ダミーのステージ部9cおよび可動ミラー7a、7bと固定ミラー6a～6dが設けられておらず、平面部9aが4本の梁部9bによって四方から吊られた状態になっている。この構成では、可動部9のさらなる小型化および軽量化が図れる。また、この光スイッチは、図5に示すミラー構造部11aと図6に示すコリメータ構造部11bが別々に形成されて接合された構成である。これによると、製造工程が簡単になるとともに、各ミラーと光ファイバの相対位置合わせ調整が比較的容易に行える。

【0048】

図7には、本実施形態のさらに他の変形例が示されている。この例の可動部13は、凹部1a内に位置する片持ち梁状の2つの可動プレート13aからなり、その2つの可動プレート13aによって可動ミラー7a、7bが保持されている。このように、本発明の可動部の形態については特に限定されるものではない。

【0049】

[第2の実施形態]

次に、図8に示す本発明の光スイッチの第2の実施形態について説明する。本実施形態は、光ファイバと各ミラーの配置のみが第1の実施形態と異なっており、その他の構成や製造方法は第1の実施形態と実質的に同一であるので説明を省略する。

【0050】

本実施形態では、4つの固定ミラー14a～14dが各光ファイバ2～5の先端部の前方にそれぞれ配置され、固定ミラー14aと光ファイバ2の間に可動ミラー15aが、固定ミラー14cと光ファイバ4の間に可動ミラー15bがそれぞれ配置されている。本実施形態では、光ファイバ2および5の組と、光ファイ

バ3および4の組に分けられ、いずれか一方の組（例えば光ファイバ2および5）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ3および4）が入射側光ファイバとなる。

【0051】

この光スイッチにおいて、図8に示されている状態では、例えば、実線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、可動ミラー15aに反射され、さらに可動ミラー15bに反射されて光ファイバ4に入射する。光ファイバ5から出射されたビームは、固定ミラー14dおよび14cに反射されるが、可動ミラー15bの裏面に遮断されて、他の光ファイバには到達しない。結局、光ファイバ2から4に至る光路のみが形成されている。図示しない駆動手段が可動部を駆動すると、可動ミラー15a、15bは、光ファイバ2～5の先端部に対向しない位置に移動するため、例えば、1点鎖線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、固定ミラー14aに反射され、さらに固定ミラー14bに反射されて光ファイバ3に入射する。光ファイバ5から出射されたビームは、固定ミラー14dに反射され、さらに固定ミラー14cに反射されて、光ファイバ4に入射する。このようにして、光ファイバ2から3に至る光路と、光ファイバ5から4に至る光路が形成されている。

【0052】

図示されている状態における光ファイバ2から4に至る光路の光路長は $E + A + B + E = A + B + 2E$ である。そして、可動ミラー15a、15b移動時の光ファイバ2から3に至る光路の光路長は $E + D + A + D + E = A + 2D + 2E$ 、光ファイバ5から4に至る光路の光路長は $E + D + C + D + E = C + 2D + 2E$ である。従って、各光ファイバ2～5と固定ミラー14a～14dおよび可動ミラー15a、15bの相対位置関係を、 $A = C$ かつ $B = 2D$ と設定することにより、3つの光路の光路長が等しくなる。アド・ドロップ方式の場合、光ファイバ2～5を、例えば「IN」、「DROP」、「OUT」、「ADD」の順に設定すれば、必ずしも必要ではない「ADD」－「DROP」光路を省略し、その他の「IN」－「OUT」、「ADD」－「OUT」、「IN」－「DROP」の3つの光路の光路長を等しくすることができる。その具体的な設計例を表4に示している。

【0053】

【表4】

第2の実施形態の設計例

(一般的には、A、B、C=125~500 μ m、D、E=0~250 μ mである)

A	300	
B	250	
C	300	
D	125	
E	100	
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	750
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	750
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	750
光ファイバ 5→3		なし

A	250	
B	250	
C	250	
D	125	
E	100	
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	700
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	700
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	700
光ファイバ 5→3		なし

A	250
B	250
C	250
D	125
E	50

光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	600
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	600
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	600
光ファイバ 5→3		なし

A	200		
B	150		
C	200		
D	75		
E	100		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	550	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	550	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	550	
光ファイバ 5→3			なし

A	200	
B	200	
C	200	
D	100	
E	50	
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	500
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	500
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	500
光ファイバ 5→3		なし

A	150
B	150
C	150
D	75
E	50

光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	400
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	400
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	400
光ファイバ 5→3		なし

【0054】

これによると、第1の実施形態と実質的に同じ効果を得ることができる。

【0055】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ2が第1の光ファイバで、光ファイバ3、4のいずれか一方が第2の光ファイバで他方が第3の光ファイバで、光

ファイバ5が第4の光ファイバである。その場合、固定ミラー14aと14bが固定ミラー手段を構成し、固定ミラー14cと14dが他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー15aと15bが可動ミラー手段を構成する。

【0056】

[第3の実施形態]

次に、図9に示す本発明の光スイッチの第3の実施形態について説明する。本実施形態は、光ファイバと各ミラーの配置のみが第1の実施形態と異なっており、その他の構成や製造方法は第1の実施形態と実質的に同一であるので説明を省略する。

【0057】

本実施形態では、4つの固定ミラー16a～16dが各光ファイバ2～5の先端部の前方にそれぞれ配置され、各固定ミラー16a～16dと各光ファイバ2～5の間に可動ミラー17a～17dがそれぞれ配置されている。本実施形態では、光ファイバ2および5の組と、光ファイバ3および4の組に分けられ、いずれか一方の組（例えば光ファイバ2および5）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ3および4）が入射側光ファイバとなる。

【0058】

この光スイッチにおいて、図9に示されている状態では、例えば、実線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、可動ミラー17aに反射され、さらに可動ミラー17cに反射されて光ファイバ4に入射する。光ファイバ5から出射されたビームは、可動ミラー17dに反射され、さらに可動ミラー17bに反射されて光ファイバ3に入射する。こうして、光ファイバ2から4に至る光路と、光ファイバ5から3に至る光路が形成されている。図示しない駆動手段が可動部を駆動すると、可動ミラー17a～17dは、光ファイバ2～5の先端部に対向しない位置に移動するため、例えば、1点鎖線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、固定ミラー16aに反射され、さらに固定ミラー16bに反射されて光ファイバ3に入射する。光ファイバ5から出射されたビームは、固定ミラー16dに反射され、さらに固定ミラー16cに反射されて、光ファイバ4に入射する。このようにして、光ファイバ2から3に至る光路と、光フ

ファイバ 5 から 4 に至る光路が形成されている。

【 0 0 5 9 】

図 9 に示されている状態における光ファイバ 2 から 4 に至る光路の光路長は $F + E + A + B + E + F = A + B + 2 E + 2 F$ 、光ファイバ 5 から 3 に至る光路の光路長は $F + C + B + F = B + C + 2 F$ である。そして、可動ミラー 1 7 a ~ 1 7 d 移動時の光ファイバ 2 から 3 に至る光路の光路長は $F + E + D + A + D + E + F = A + 2 D + 2 E + 2 F$ 、光ファイバ 5 から 4 に至る光路の光路長は $F + E + D + C + D + E + F = C + 2 D + 2 E + 2 F$ である。従って、各光ファイバ 2 ~ 5 と固定ミラー 1 6 a ~ 1 6 d および可動ミラー 1 7 a ~ 1 7 d の相対位置関係を、 $A = C$ かつ $B = 2 D$ と設定することにより、考えられる 4 つの光路のうちの 3 つの光路長が等しくなる。アド・ドロップ方式の場合、光ファイバ 2 ~ 5 を、例えば「IN」、「DROP」、「OUT」、「ADD」の順に設定すれば、「IN」-「OUT」、「ADD」-「OUT」、「IN」-「DROP」の 3 つの光路の光路長を等しくし、「ADD」-「DROP」光路の光路長のみわずかに異なる構成にできる。その具体的な設計例を表 5 に示している。

【 0 0 6 0 】

【表 5】

第3の実施形態の設計例

(一般的には、A、B、C=125~500 μ m、D、E、F=0~250 μ mである)

A	250		A	250	
B	250		B	200	
C	250		C	250	
D	125		D	100	
E	50		E	50	
F	50		F	50	
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	700	光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	650
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	700	光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	650
光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	700	光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	650
光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	600	光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	550

A	250		A	200	
B	150		B	150	
C	250		C	200	
D	75		D	75	
E	50		E	50	
F	50		F	50	
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	600	光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	550
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	600	光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	550
光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	600	光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	550
光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	500	光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	450

A	150		A	150	
B	150		B	150	
C	150		C	150	
D	75		D	75	
E	50		E	50	
F	50		F	25	
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	500	光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	450
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	500	光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	450
光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	500	光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	450
光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	400	光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	350

【0061】

これによると、可動ミラーの数が増えるものの、唯一異なる「ADD」－「DROP」光路の光路長も、他の3つの光路に非常に近づけることができる。なお、それ以外は第1の実施形態と実質的に同じ効果を得ることができる。

【0062】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ2が第1の光ファイバで、光ファイバ3、4のいずれか一方が第2の光ファイバで他方が第3の光ファイバで、光ファイバ5が第4の光ファイバである。その場合、固定ミラー16aと16bが固定ミラー手段を構成し、固定ミラー16cと16dが他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー17aと17cが可動ミラー手段を構成し、可動ミラー17bと17dが他の可動ミラー手段を構成する。

【0063】

[第4の実施形態]

次に、図10に示す本発明の光スイッチの第4の実施形態について説明する。本実施形態は、光ファイバと各ミラーの配置のみが第1の実施形態と異なっており、その他の構成や製造方法は第1の実施形態と実質的に同一であるので説明を省略する。

【0064】

本実施形態では、4つの固定ミラー18a～18dが各光ファイバ2～5の先端部の前方にそれぞれ配置され、各固定ミラー18a～18dと各光ファイバ2～5の間に可動ミラー19a～19dがそれぞれ配置されている。本実施形態では、光ファイバ2および4の組と、光ファイバ3および5の組に分けられ、いずれか一方の組（例えば光ファイバ2および4）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ3および5）が入射側光ファイバとなる。

【0065】

この光スイッチにおいて、図10に示されている状態では、例えば、実線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、可動ミラー19aに反射され、さらに可動ミラー19dに反射されて光ファイバ5に入射する。光ファイバ4から出射されたビームは、可動ミラー19cに反射され、さらに可動ミラー19bに反射されて光ファイバ3に入射する。こうして、光ファイバ2から5に至る光路と、光ファイバ4から3に至る光路が形成されている。図示しない駆動手段が可動部を駆動すると、可動ミラー19a～19dは、光ファイバ2～5の先端部に対向しない位置に移動するため、例えば、1点鎖線で示すように、光ファイ

バ2から出射されたビームは、固定ミラー18aに反射され、さらに固定ミラー18bに反射されて光ファイバ3に入射する。光ファイバ4から出射されたビームは、固定ミラー18cに反射され、さらに固定ミラー18dに反射されて、光ファイバ5に入射する。このようにして、光ファイバ2から3に至る光路と、光ファイバ4から5に至る光路が形成されている。

【0066】

図10に示されている状態における光ファイバ2から5に至る光路の光路長は $F + A + B + C + F = A + B + C + 2F$ 、光ファイバ4から3に至る光路の光路長は $F + E + B + E + F = B + 2E + 2F$ である。そして、可動ミラー19a～19d移動時の光ファイバ2から3に至る光路の光路長は $F + E + D + A + D + E + F = A + 2D + 2E + 2F$ 、光ファイバ4から5に至る光路の光路長は $F + E + D + C + D + E + F = C + 2D + 2E + 2F$ である。従って、各光ファイバ2～5と固定ミラー18a～18dおよび可動ミラー19a～19dの相対位置関係を、 $A = C$ かつ $A + B = 2D + 2F$ と設定することにより、考えられる4つの光路のうちの3つの光路長が等しくなる。アド・ドロップ方式の場合、光ファイバ2～5を、例えば「IN」、「DROP」、「ADD」、「OUT」の順に設定すれば、「IN」－「OUT」、「ADD」－「OUT」、「IN」－「DROP」の3つの光路の光路長を等しくし、「ADD」－「DROP」光路の光路長のみわずかに短い構成にできる。その具体的な設計例を表6に示している。

【0067】

【表 6】

第4の実施形態の設計例

(一般的には、A、B、C=125~500 μ m、D、E、F=0~250 μ mである)

A	150			A	150		
B	300			B	250		
C	150			C	150		
D	125			D	125		
E	100			E	75		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	700		光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	650	
光ファイバ 4→5	$C+2D+2E+2F$	700		光ファイバ 4→5	$C+2D+2E+2F$	650	
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2F$	700		光ファイバ 2→5	$A+B+C+2F$	650	
光ファイバ 4→3	$B+2E+2F$	600		光ファイバ 4→3	$B+2E+2F$	500	

A	150			A	150		
B	200			B	150		
C	150			C	150		
D	125			D	100		
E	50			E	50		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	600		光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	550	
光ファイバ 4→5	$C+2D+2E+2F$	600		光ファイバ 4→5	$C+2D+2E+2F$	550	
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2F$	600		光ファイバ 2→5	$A+B+C+2F$	550	
光ファイバ 4→3	$B+2E+2F$	400		光ファイバ 4→3	$B+2E+2F$	350	

A	150			A	150		
B	150			B	150		
C	150			C	150		
D	50			D	50		
E	125			E	100		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	600		光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	550	
光ファイバ 4→5	$C+2D+2E+2F$	600		光ファイバ 4→5	$C+2D+2E+2F$	550	
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2F$	550		光ファイバ 2→5	$A+B+C+2F$	550	
光ファイバ 4→3	$B+2E+2F$	500		光ファイバ 4→3	$B+2E+2F$	450	

【0068】

これによると、第3の実施形態と同様に、可動ミラーの数が増えるものの、唯一異なる「ADD」－「DROP」光路の光路長も、他の3つの光路に非常に近づけることができる。それ以外は第1の実施形態と実質的に同じ効果を得ることができ

る。

【0069】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ2が第1の光ファイバで、光ファイバ3、5のいずれか一方が第2の光ファイバで他方が第3の光ファイバで、光ファイバ4が第4の光ファイバである。その場合、固定ミラー18aと18bが固定ミラー手段を構成し、固定ミラー18cと18dが他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー19aと19dが可動ミラー手段を構成し、可動ミラー19bと19cが他の可動ミラー手段を構成する。

【0070】

本発明は、以上説明した4つの実施形態に限られず、光ファイバおよび固定ミラーおよび可動ミラーを、考えられる様々な位置関係に配置することができ、いかなる場合であっても、構成可能な多数の光路のうち、少なくとも、1つを除いては全て同じ光路長になるように配置される。これによって、特にアド・ドロップ方式の光通信に適した、良好な光の伝播が可能な光スイッチが実現できる。もちろん、構成可能な全ての光路の光路長が等しくなるように光ファイバおよび固定ミラーおよび可動ミラーを配置することも、本発明の技術的思想に含まれるものである。その場合、例えば、前記した各実施形態のように全てのミラーを光軸に対して45度に傾けて配置するのではなく、各ミラーの角度をそれぞれ細かく設定するなどの調整を行うのが好ましい。各光路の光路長は、実際には、使用されるファイバコリメータの特性や、ファイバの径や各ミラーの大きさ等を考慮した上で、適切な寸法が選択される。また、光ファイバの数やそれぞれの用途（入射側または出射側など）や、可動ミラーの駆動手段の形態等については、自由に変更することができる。

【0071】

【発明の効果】

本発明では、各光ファイバの組み合わせによって構成可能な光路のうちの全て、または1つを除いて全てが、光路長が等しくなるように設定されており、これらの光路について、光の良好な伝播状態が確保できる。アド・ドロップ方式の光通信においては、1つの光路（アド・ドロップの光路）のみは光の伝播状態が悪

くても問題にならないので、本発明を適用するのに特に適している。

【0072】

また、本発明では、各ミラーを小型化でき、ミラー配置領域を小さくできるので、それに伴って光ファイバの先端部をより近接させて、光路長を短くすることができ、それによって、光ファイバおよび各ミラーの位置や角度のずれに対する許容範囲が大きくなる。さらに、可動ミラーが小型であるため、可動部全体を小型軽量化して、共振周波数を高くしてスイッチング速度を速くすることができる。また、電磁石などの駆動手段の出力を小さく抑えることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

(a) は本発明の光スイッチの第1の実施形態の平面図、(b) は(a)のX-X線断面図、(c) は(a)のY-Y線断面図である。

【図2】

(a) は図1に示す光スイッチの要部の模式図、(b) は(a)の断面図である。

【図3】

本発明の光スイッチの第1の実施形態の変形例の平面図である。

【図4】

本発明の光スイッチの第1の実施形態の他の変形例の平面図である。

【図5】

図4に示す光スイッチのミラー構造部の拡大図である。

【図6】

図4に示す光スイッチのコリメータ構造部の拡大図である。

【図7】

本発明の光スイッチの第1の実施形態のさらに他の変形例の平面図である。

【図8】

本発明の光スイッチの第2の実施形態の要部の模式図である。

【図9】

本発明の光スイッチの第3の実施形態の要部の模式図である。

【図 1 0】

本発明の光スイッチの第 4 の実施形態の要部の模式図である。

【図 1 1】

従来の光スイッチの平面図である。

【図 1 2】

図 1 1 に示す従来の光スイッチの要部の模式図である。

【図 1 3】

光ファイバから出射した光の進行状況を示す模式図である。

【図 1 4】

光ファイバから出射した光の焦点からの距離とビーム半径との関係を示すグラフである。

【図 1 5】

1 対の光ファイバ間の光学的接続を説明する模式図である。

【図 1 6】

1 対の光ファイバ間の光学的接続位置の焦点からの距離と損失との関係を示すグラフである。

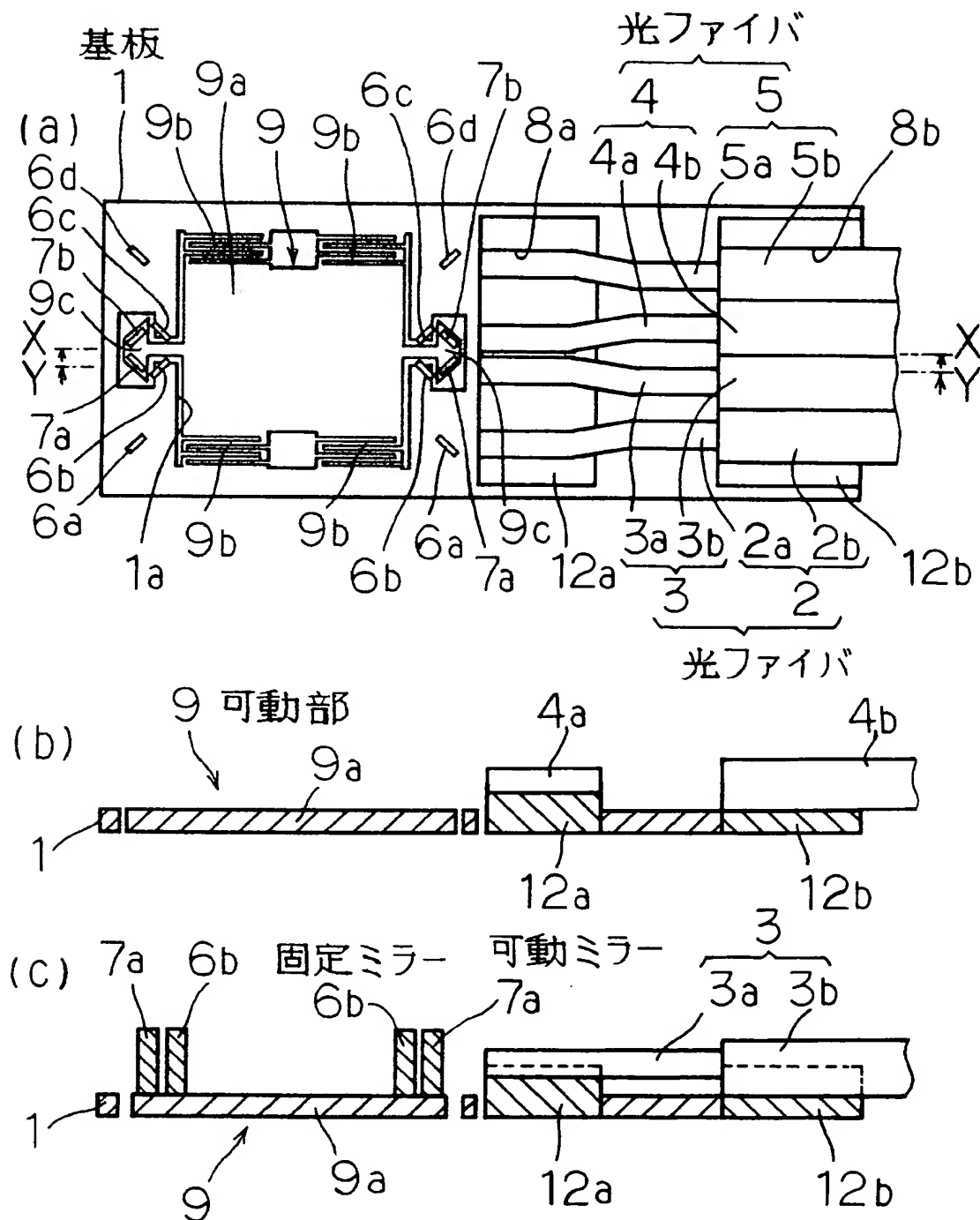
【符号の説明】

1	基板	
1 a	凹部	
2 ～ 5	光ファイバ	
6 a ～ 6 d, 1 4 a ～ 1 4 d, 1 6 a ～ 1 6 b, 1 8 a ～ 1 8 d		固定ミラー
7 a, 7 b, 1 5 a, 1 5 b, 1 7 a ～ 1 7 d, 1 9 a ～ 1 9 d		可動ミラー
8 a, 8 b	ガイド溝	
9	可動部	

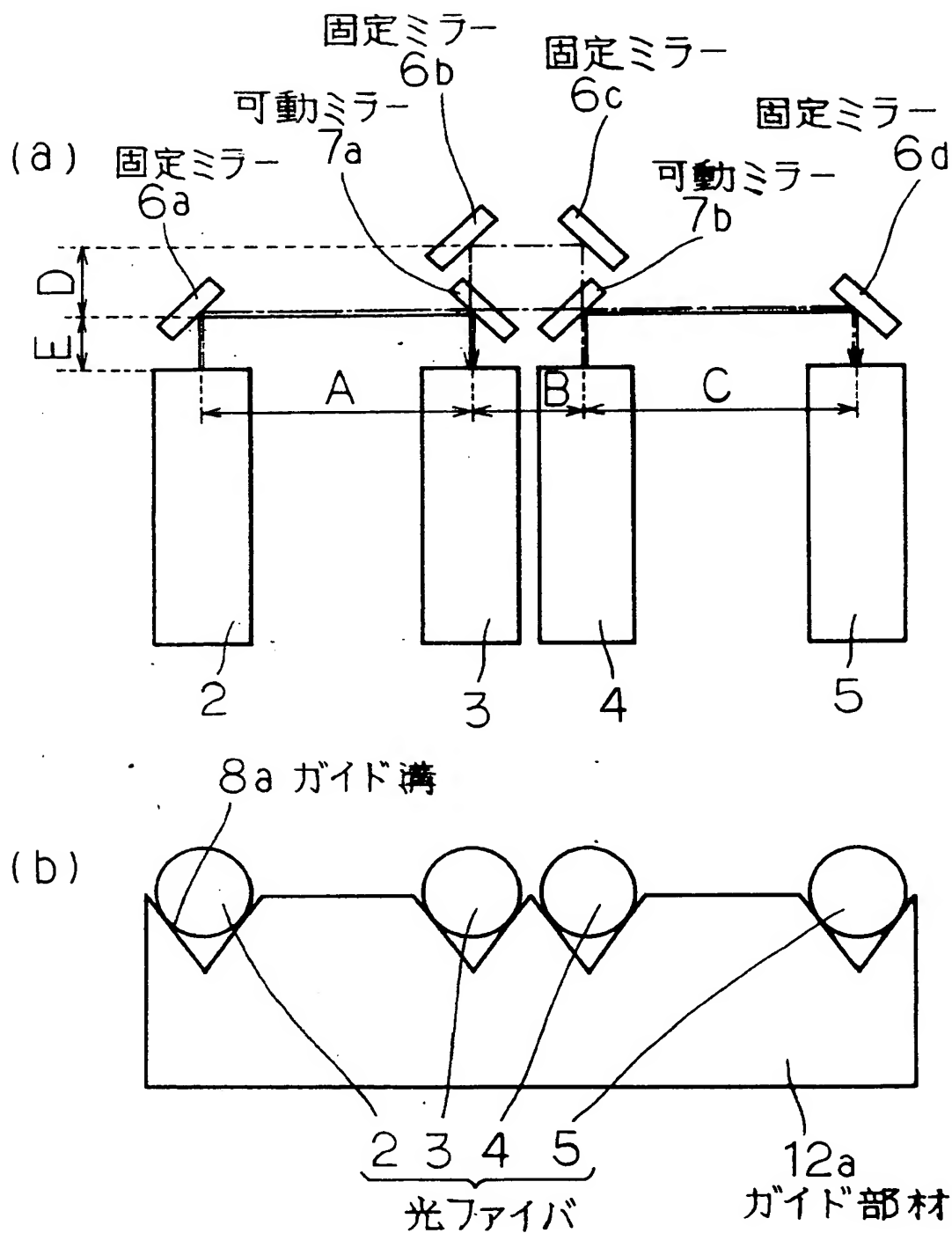
【書類名】

図面

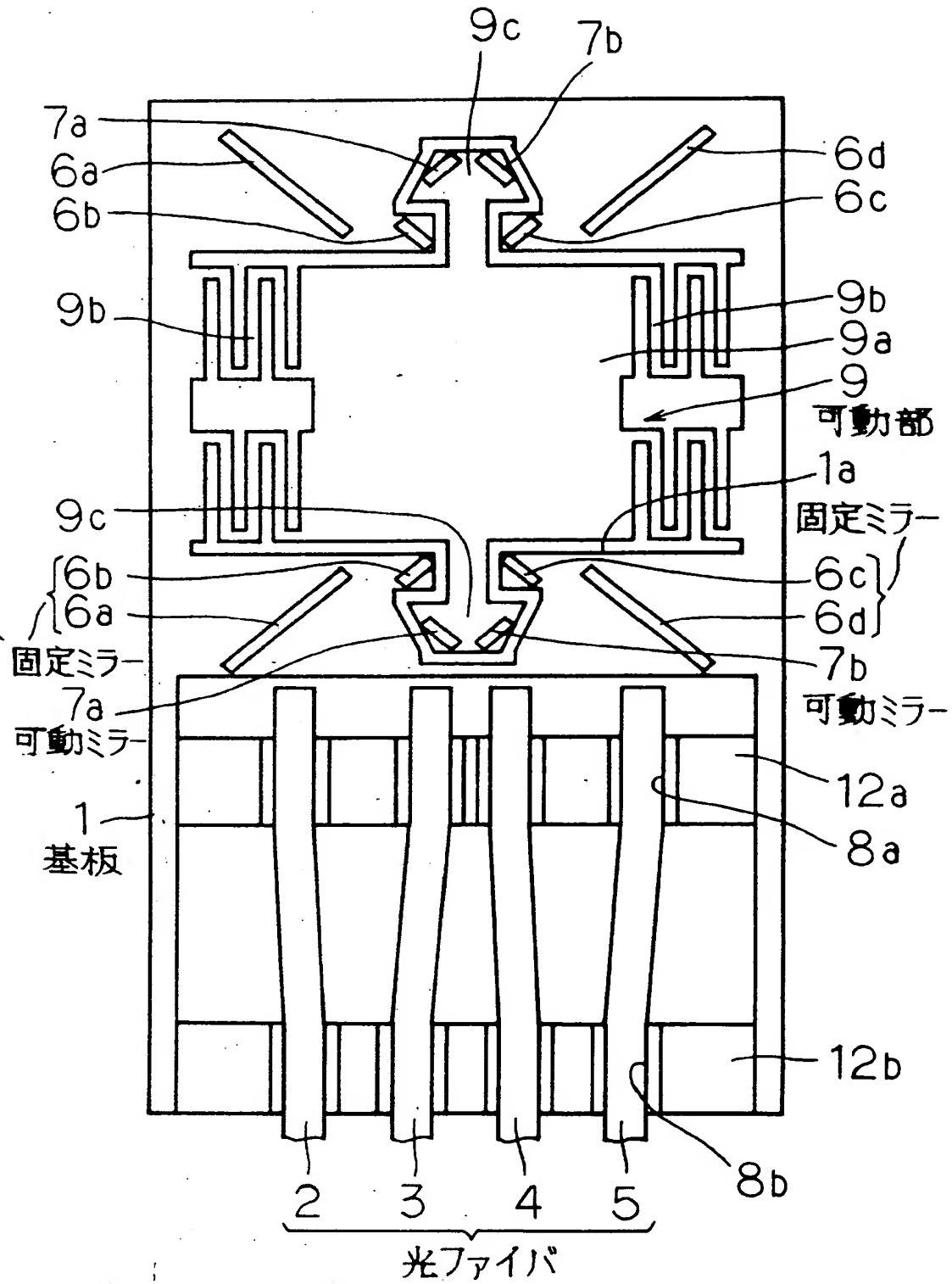
【図 1】



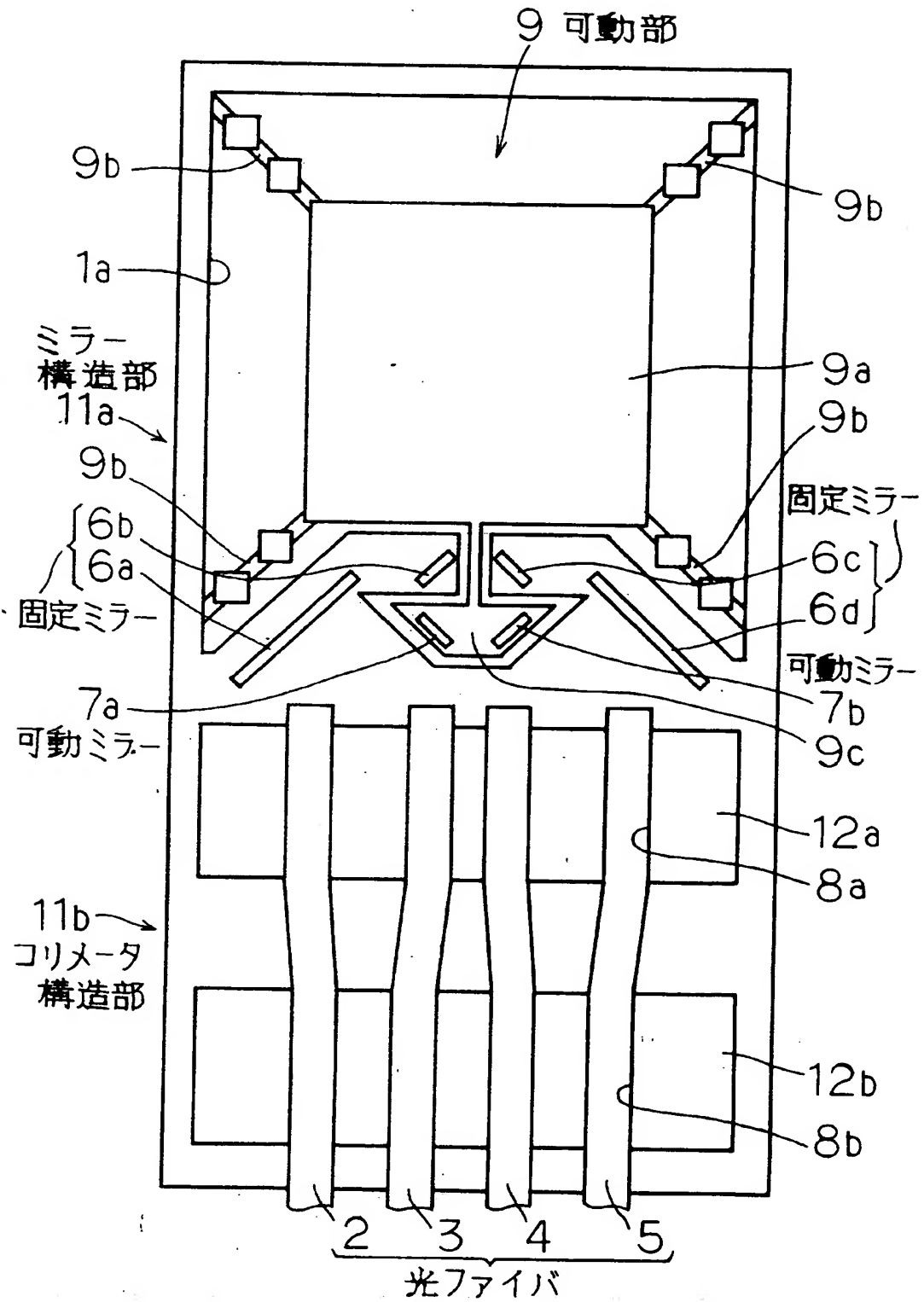
【図 2】



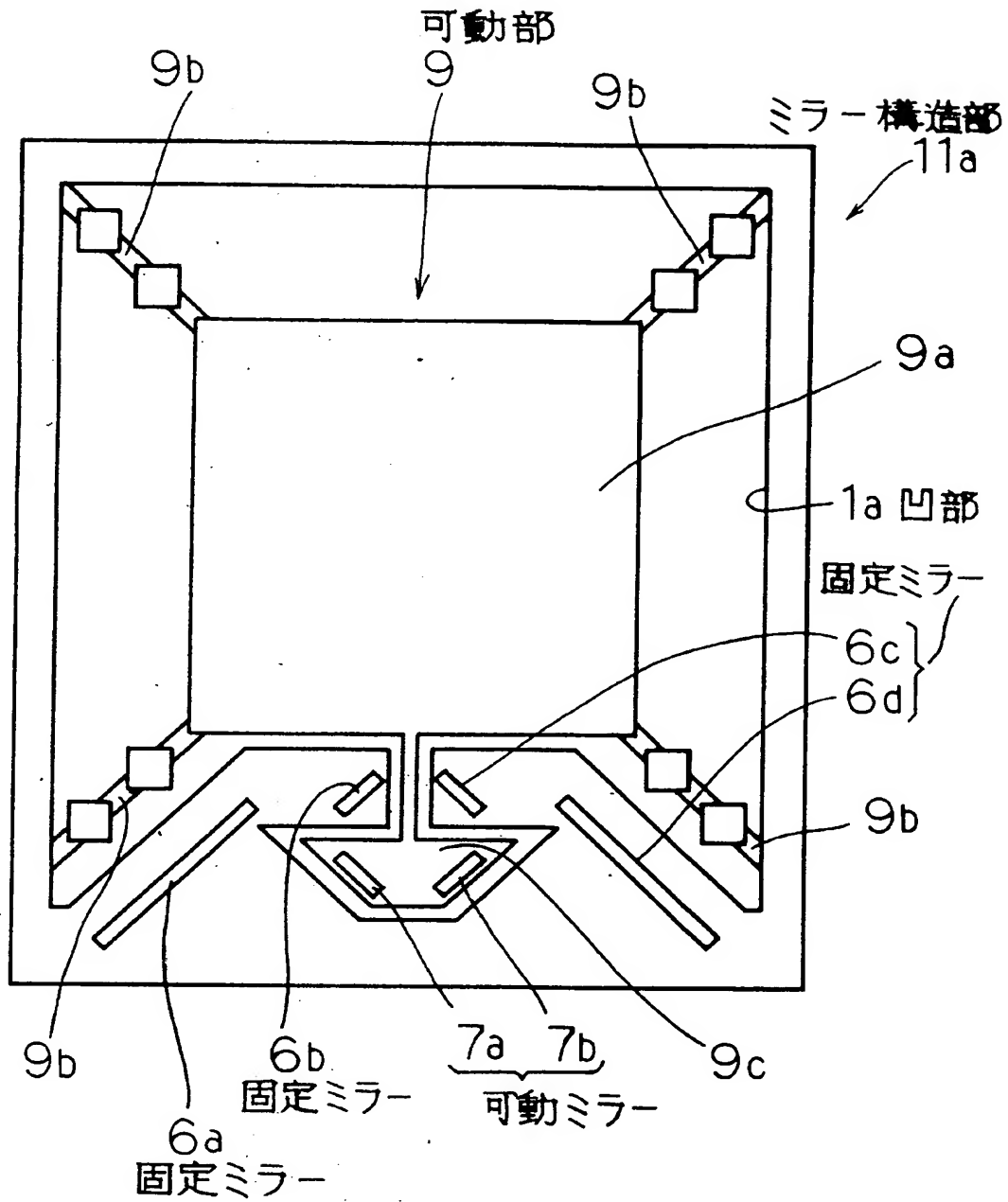
【図 3】



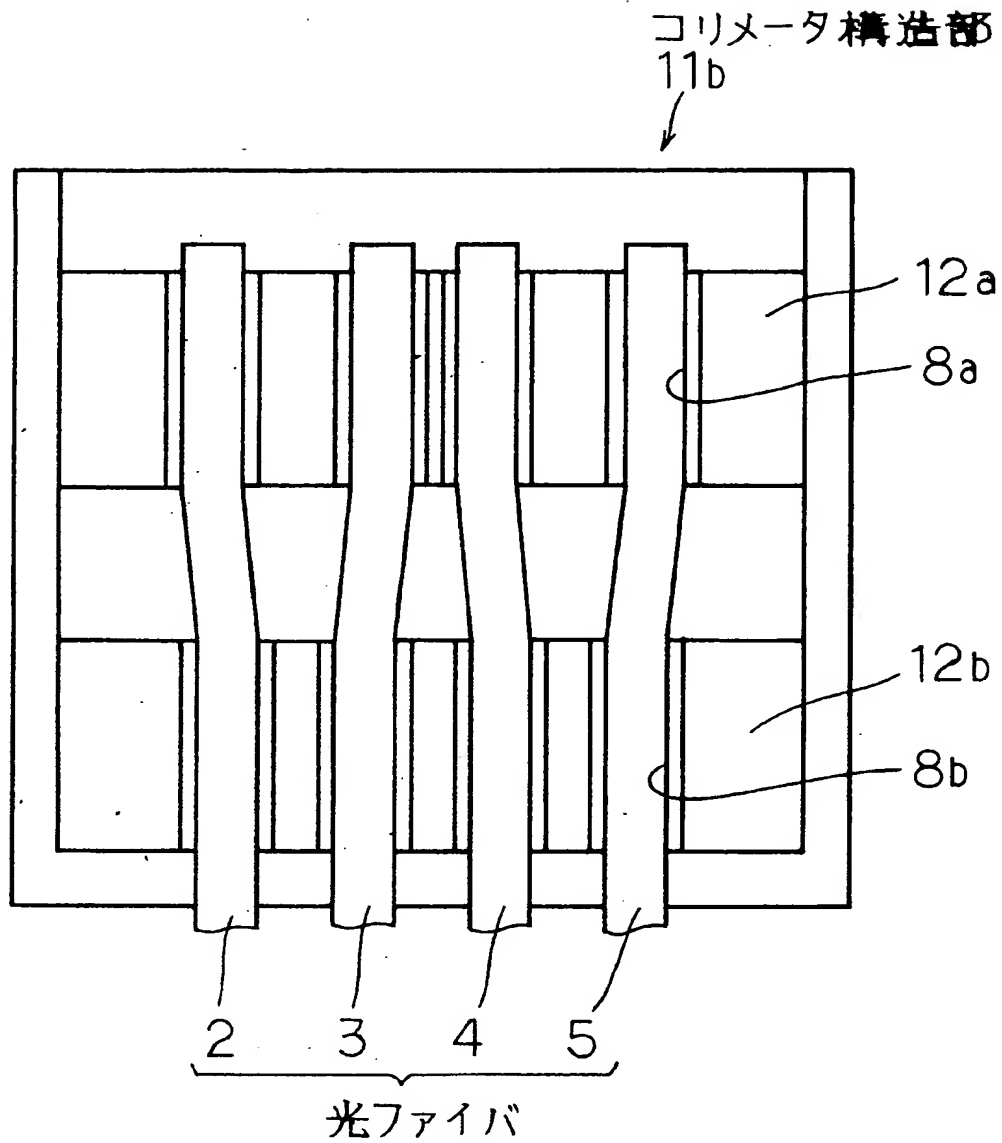
【図 4】



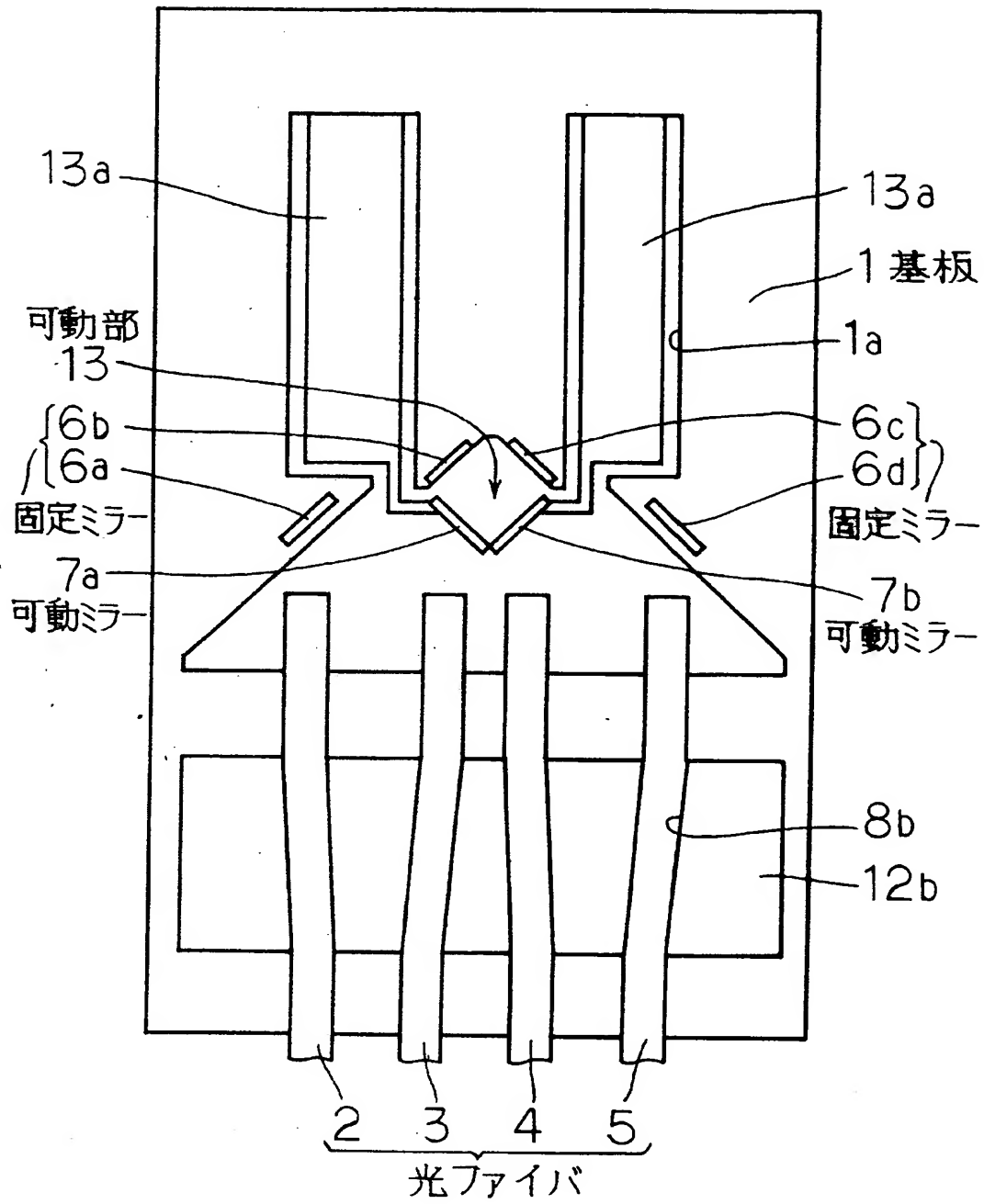
【図 5】



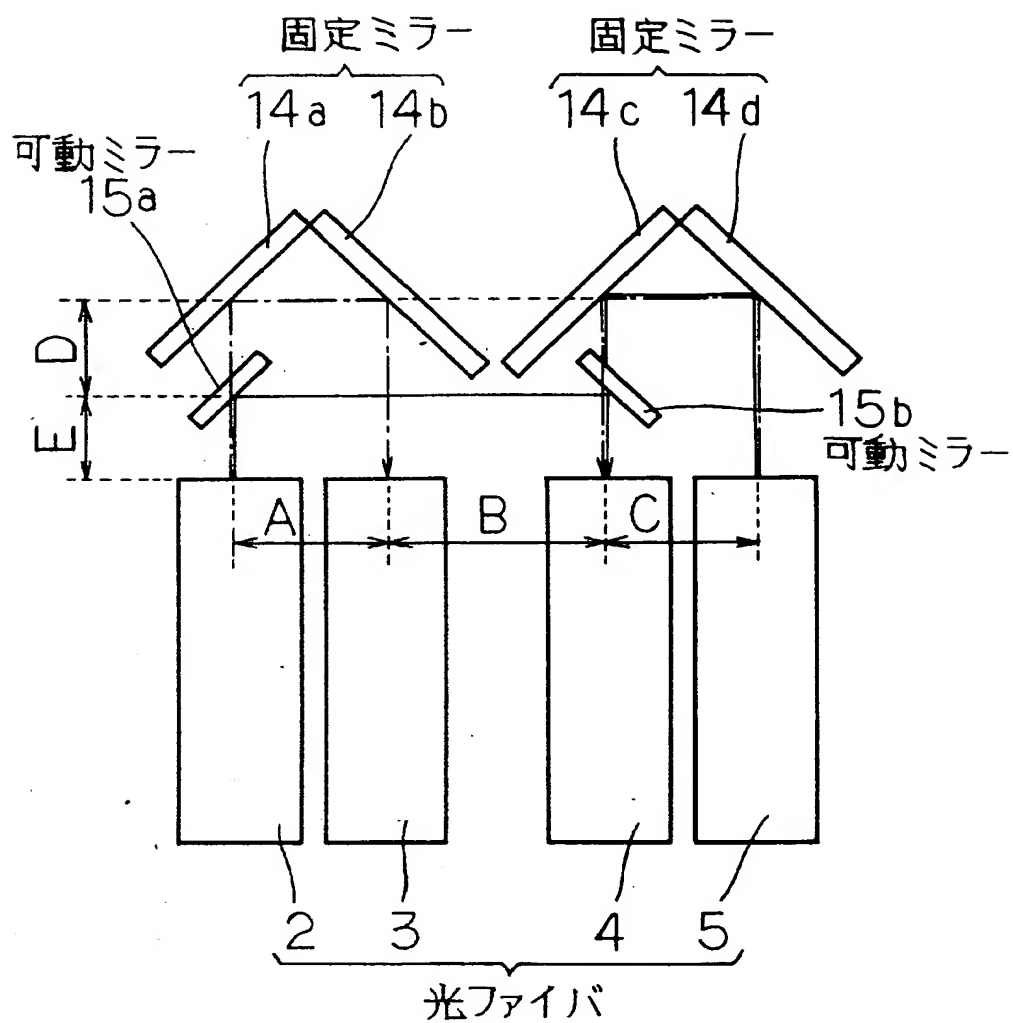
【図 6】



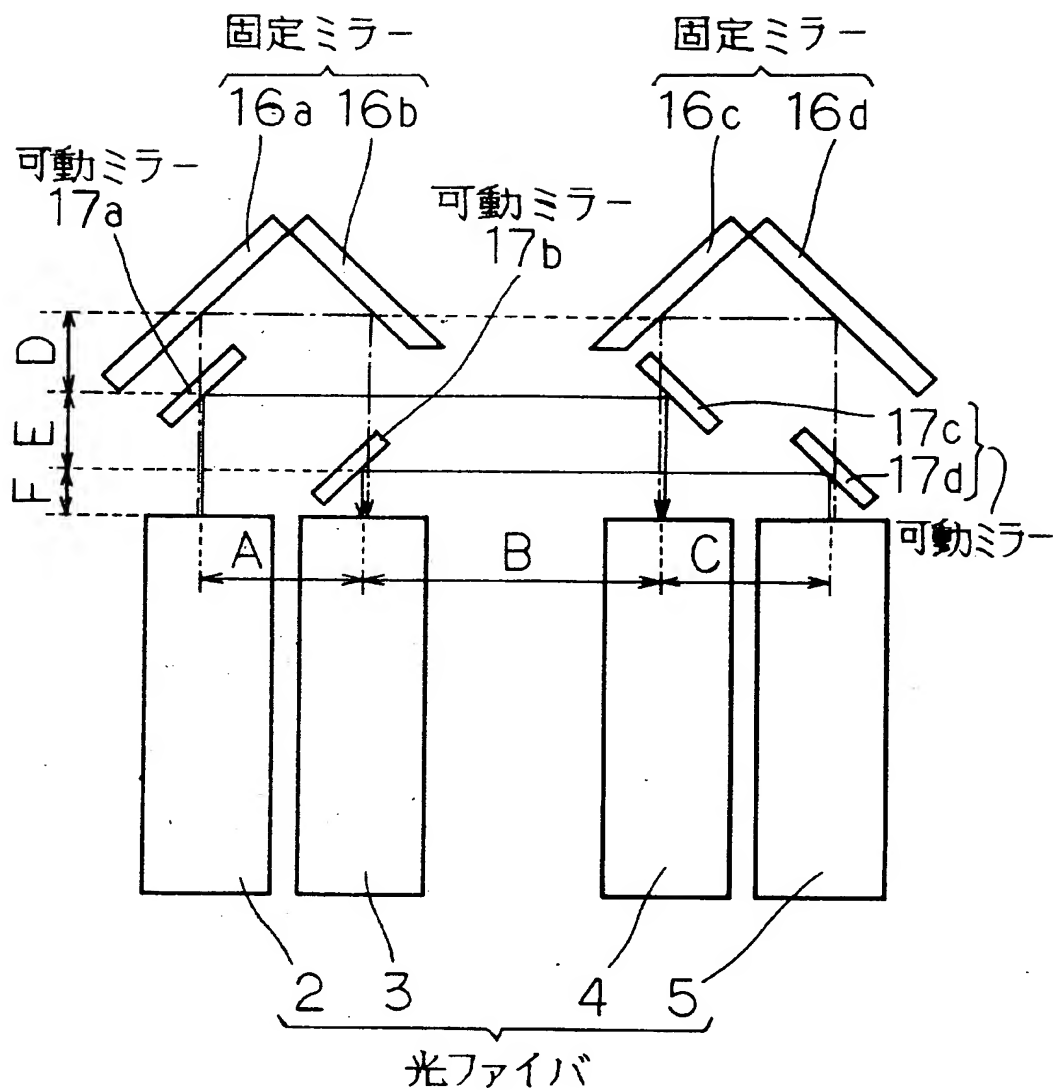
【図 7】



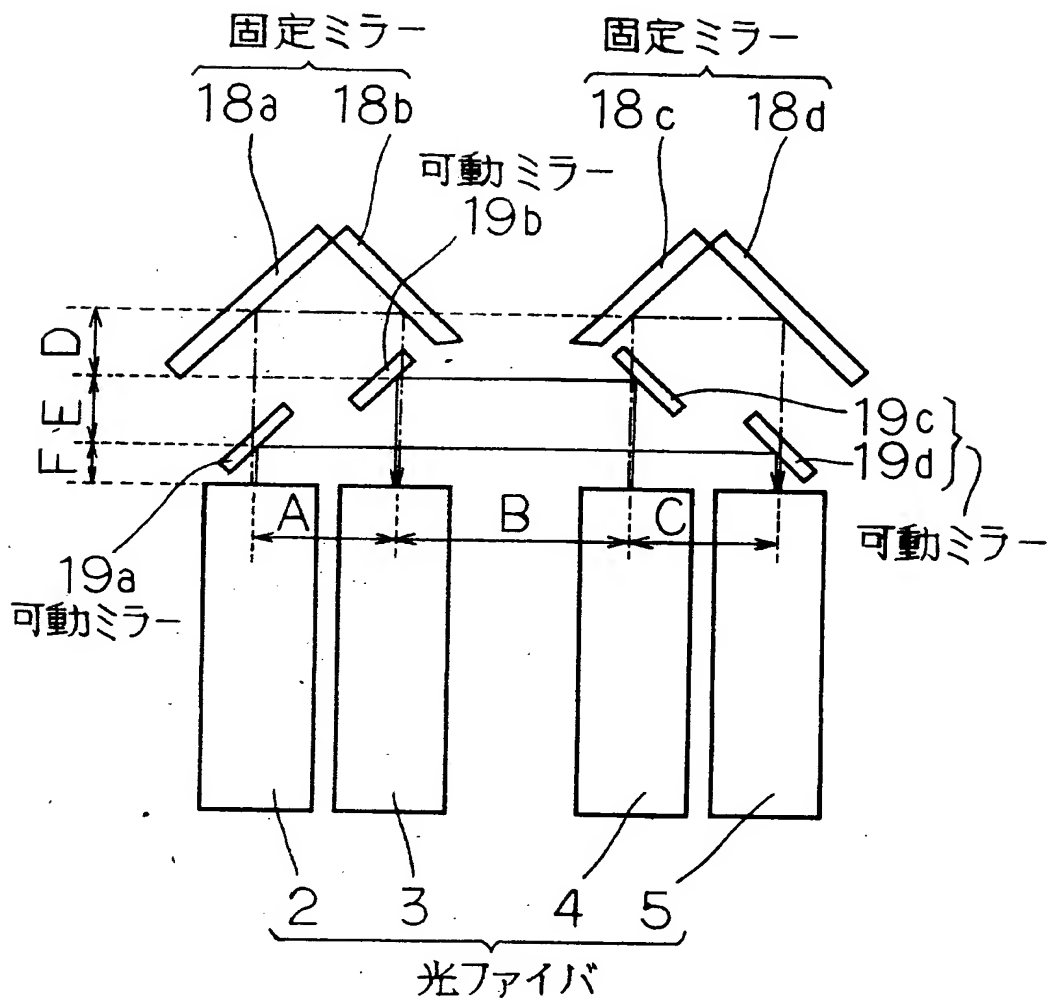
【図 8】



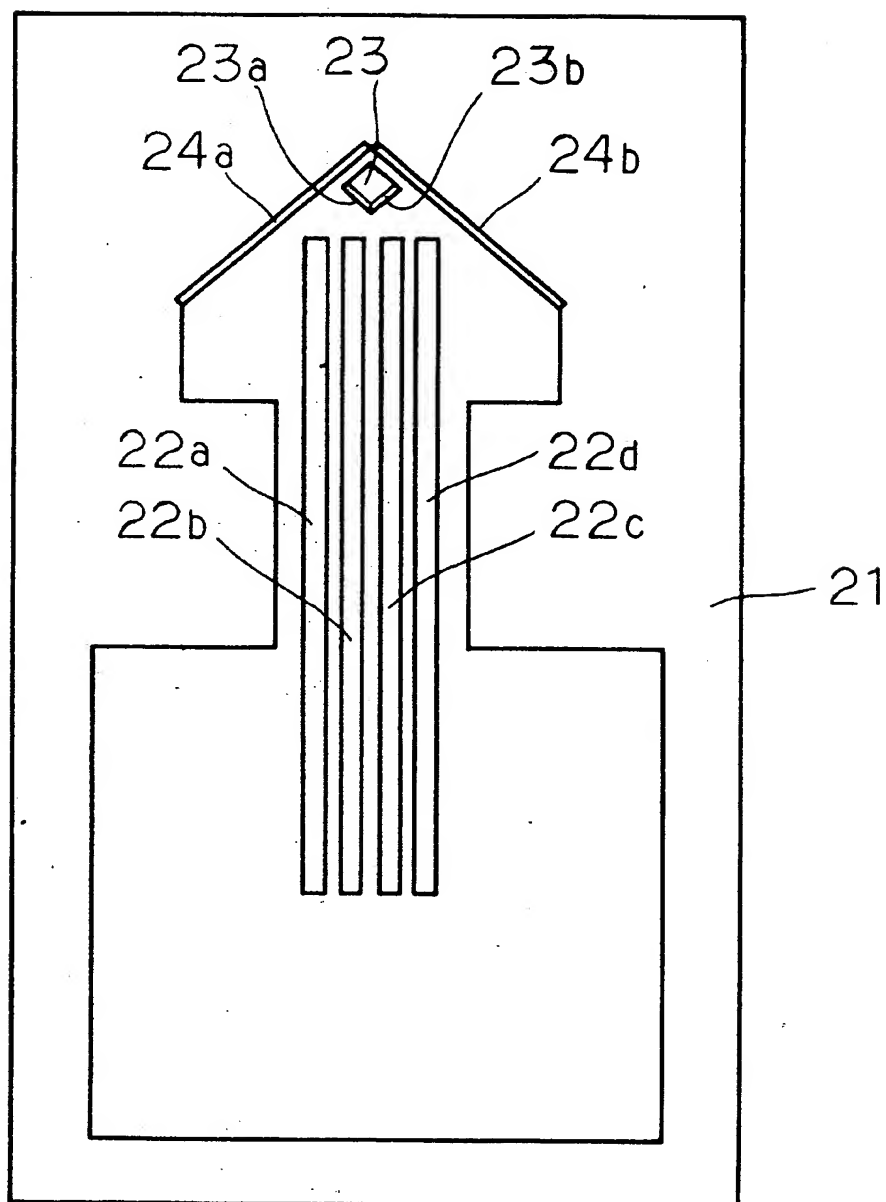
【図 9】



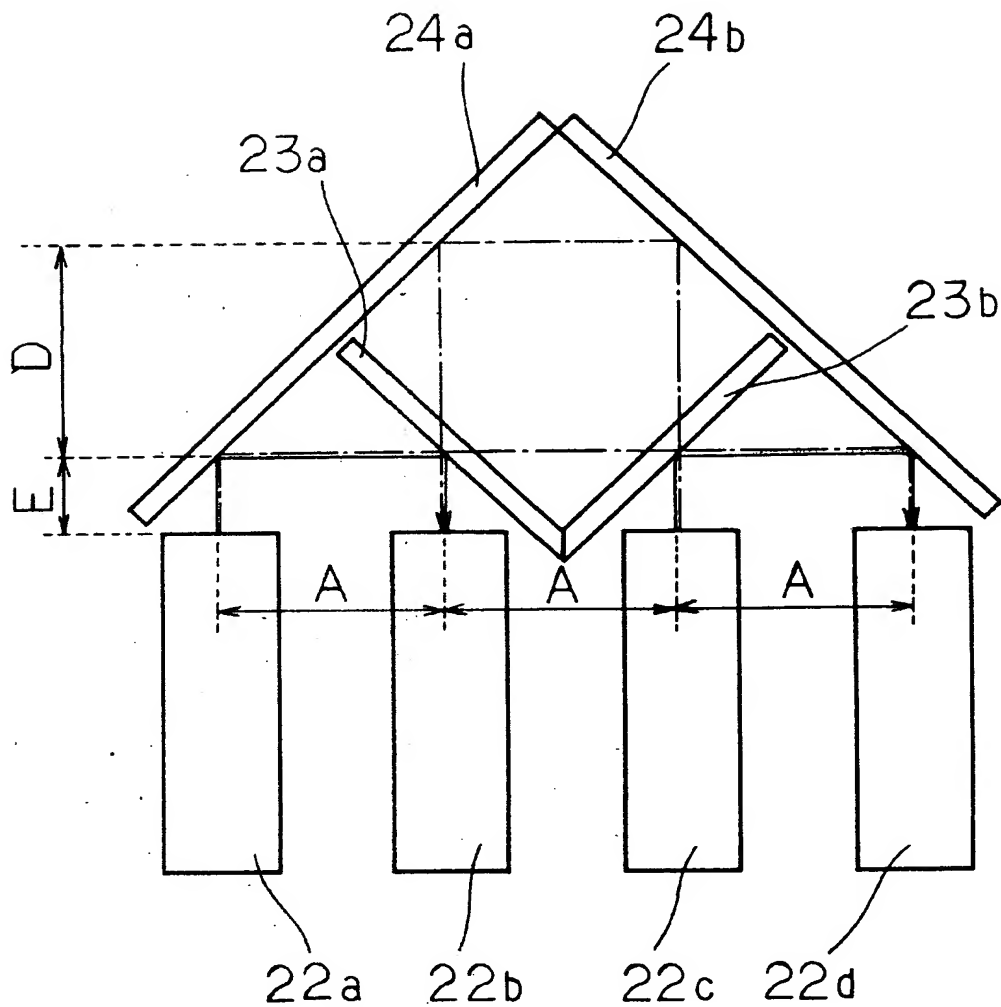
【図10】



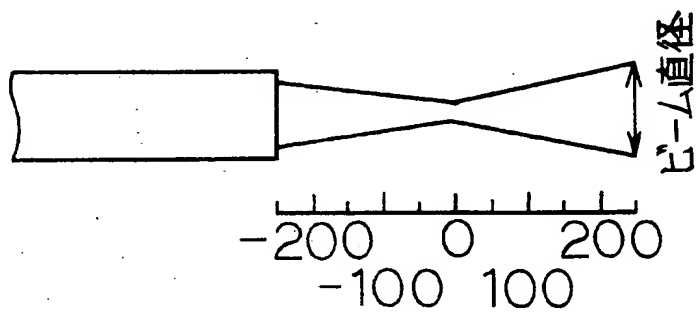
【図 11】



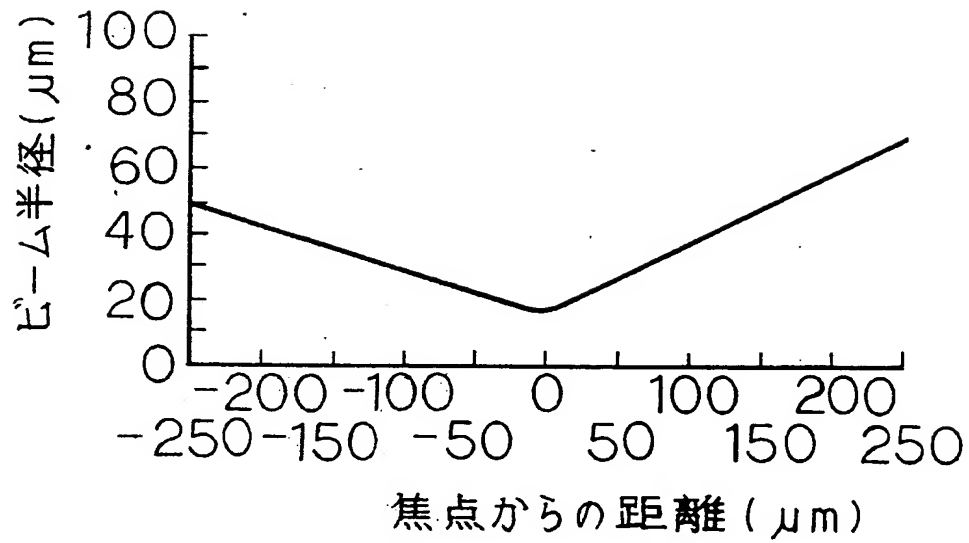
【図 12】



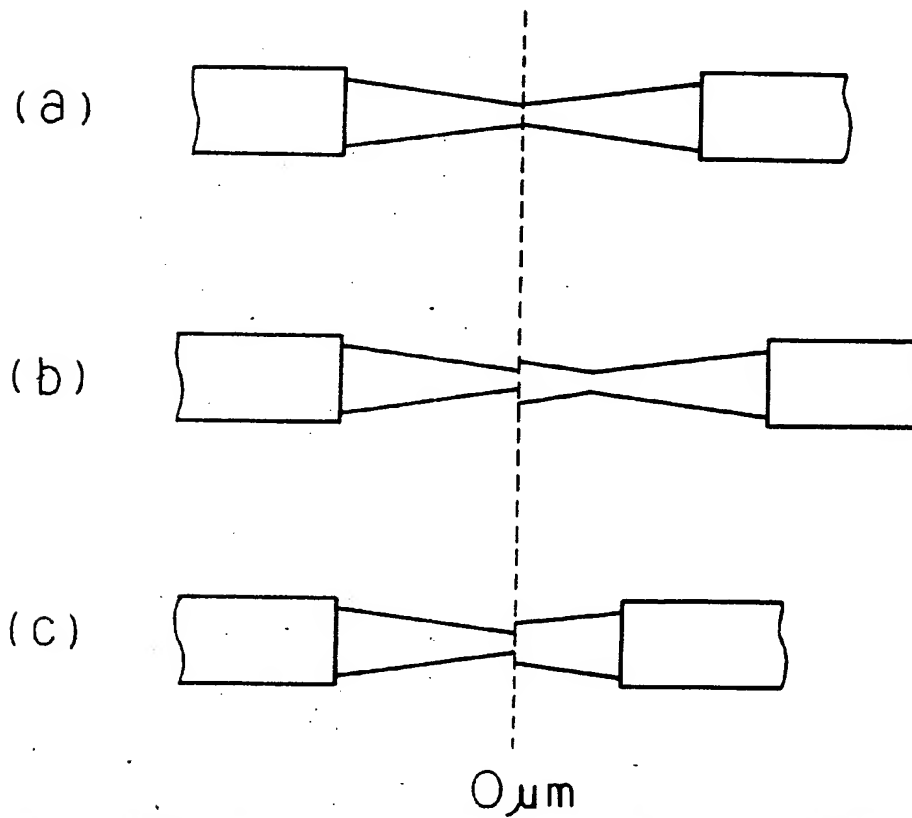
【図 13】



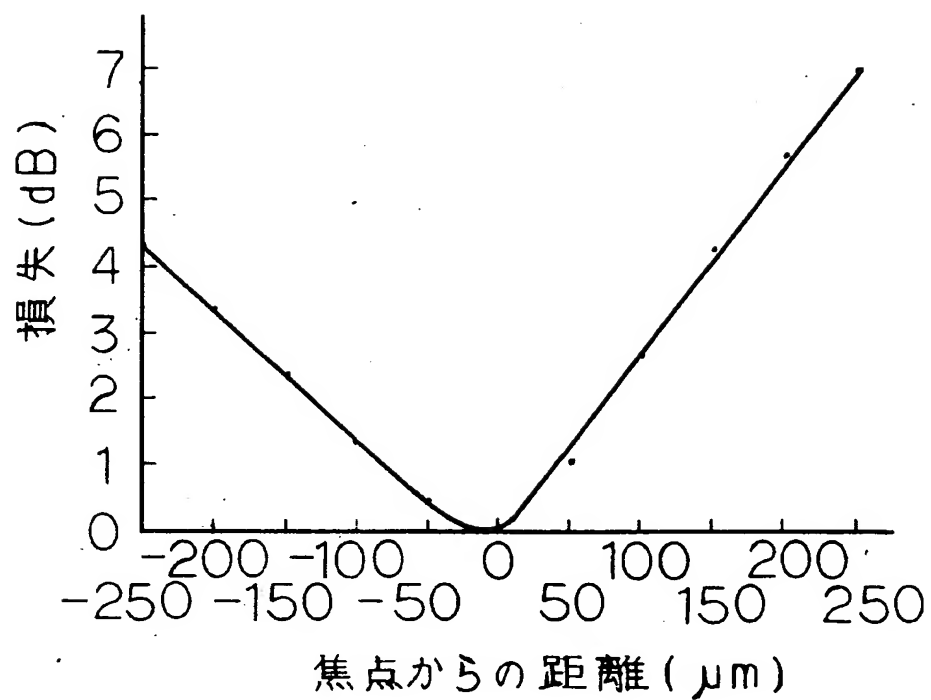
【図14】



【図15】



【図 16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複数の光ファイバからなる光路のうち光通信上必要な光路の長さを等しくする。

【解決手段】 非等間隔で平行な光ファイバ 2 ～ 5 を ADD、OUT、IN、DROP と設定し、アド・ドロップ用途とする。光ファイバ 2 から固定ミラー 6 a と可動ミラー 7 a を介して光ファイバ 3 に至る光路長 $A + 2 E$ の ADD-OUT 光路と、光ファイバ 4 から可動ミラー 7 b と固定ミラー 6 d を介して光ファイバ 5 に至る光路長 $C + 2 E$ の IN-DROP 光路が形成される。可動ミラー 7 a, 7 b が退避すると、光ファイバ 2 から固定ミラー 6 a と 6 d を介して光ファイバ 5 に至る光路長 $A + B + C + 2 E$ の ADD-DROP 光路と、光ファイバ 4 から固定ミラー 6 c と 6 b を介して光ファイバ 3 に至る光路長 $B + 2 D + 2 E$ の IN-OUT 光路が形成される。 $A = C = B + 2 D$ として ADD-DROP 以外の 3 光路を同じ長さにする。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 2 - 3 4 9 8 5 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 3 2 5]

- | | |
|----------|-----------------------|
| 1. 変更年月日 | 1 9 9 7 年 7 月 2 3 日 |
| [変更理由] | 名称変更 |
| 住 所 | 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 |
| 氏 名 | セイコーインスツルメンツ株式会社 |
| | |
| 2. 変更年月日 | 2 0 0 4 年 9 月 1 0 日 |
| [変更理由] | 名称変更 |
| 住 所 | 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 |
| 氏 名 | セイコーインスツル株式会社 |